

**ОБ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕЕ НОРМИРОВАНИИ
В МЕХАНООБРАБОТКЕ**

Розглянуто питання економії та нормування витрат силової електроенергії при механічній обробці різнанням.

Стремление повысить технико-экономическую эффективность механообработки делает актуальной проблему оценки экономичности технологических процессов. Достижение экономичности технологических процессов механосборочных производств без управления затратами и их нормирования не представляется возможным.

Техническое нормирование в широком смысле этого понятия представляет собой установление технически обоснованных норм расхода производственных ресурсов (ГОСТ 3.1109-82). При этом под производственными ресурсами понимаются энергия, сырье, материалы, инструмент, рабочее время и т.д. В современных условиях механосборочного производства экономия производственных ресурсов (в частности электроэнергии) приобретает важное значение. Одним из главных направлений в работе по экономии электроэнергии является интенсификация производства, рационализация технологических режимов и их увязка с оптимальными энергетическими режимами.

Сопоставление экономичности вариантов техпроцессов в большинстве случаев производится путем сравнения себестоимости обработки заготовок. Методов расчета себестоимости достаточно много.

Наиболее точным методом расчета себестоимости вариантов технологических процессов при их сопоставлении является элементный [метод или метод прямого расчета всех составляющих себестоимости. В отдельных случаях при расчете можно не учитывать затрат, которые во всех сравниваемых вариантах остаются постоянными, и определять себестоимость только по затратам, зависящим от сравниваемых технологических процессов. Такая неполная себестоимость, включающая в себя только затраты, обусловленные вариантом технологического процесса, называется технологической себестоимостью.

Элементный метод расчета себестоимости является основным методом сопоставления экономичности технологических процессов во всех ответственных случаях, особенно в условиях массового и крупносерийного производств. В менее ответственных случаях, а также при расчетах себестоимости для серийного и мелкосерийного производств этот метод применяется с учетом укрупненных нормативов затрат. Расчет технологической себестоимости в этом случае производится также, однако отдельные слагаемые себестоимости находят не прямым расчетом по точным формулам, а по соответству-

ющим нормативным таблицам затрат, отнесенным к часу или к минуте работы станка. Подобные нормативы [7] по всем элементам технологической себестоимости составлены (за исключением стоимости исходной заготовки, которая должна вычисляться по соответствующим формулам применительно к ее конкретным конфигурации, размерам и материалу) для всех основных типоразмеров металлорежущего, литейного, кузнечно-прессового, термического и подъемно – транспортного оборудования, применяемого в условиях единичного и мелкосерийного или крупносерийного и массового производств. Нормативы подсчитаны с учетом некоторых средних условий выполнения операций, наиболее характерных для данного типоразмера станка.

В связи с тем что затраты на силовую энергию и режущий инструмент вычисляются пропорционально основному времени, а все остальные элементы определяются пропорционально общей продолжительности операции, при составлении нормативов учитывается средняя доля основного времени в общей норме времени, характерной для данного типоразмера станка при определенной серийности производства. Это дает возможность без большой погрешности находить технологическую себестоимость операции как произведение себестоимости станко-часа, взятой по нормативам, на общую трудоемкость операции.

Расчет технологической себестоимости по стоимости станко-часа (или станко-минуты) сводится к определению по нормативным таблицам затрат по каждому из элементов себестоимости, приходящихся на один час (минуту) работы станка, суммированию этих затрат в соответствии с принятой для данного расчета структурой технологической себестоимости и умножению полученной суммы на трудоемкость выполнения данной операции/

Способ определения технологической себестоимости по нормативам, как и всякий другой метод, основанный на средних данных, может иногда дать погрешность расчета, достигающую 15 — 20 % (по сравнению с результатами элементарного расчета по точным формулам). Однако для большинства случаев точность такого расчета является достаточной, поэтому он может быть рекомендован для широкого практического применения.

При любом методе расчета себестоимости определение затрат на силовую электроэнергию является частью общих затрат на изготовление продукции, теснейшим образом связанной со структурой выполнения технологических операций и составом оборудования. А следовательно сокращение (оптимизация) затрат электроэнергии должна решаться в комплексе задач проектирования оптимальных структур выполнения технологических операций с рациональными параметрами режимов обработки. При этом следует помнить, что затраты на электроэнергию при механической обработке резанием через режимы резания и силовые характеристики процесса напрямую связаны с затратами на режущий инструмент, поскольку стойкость инструмента является функцией скорости резания. В свою очередь режимы резания и структура выполнения технологической операции определяют производи-

тельность обработки, которая в свою очередь влияет на значения остальных затрат.

Таким образом решение задачи нормирования производственных (цеховых) затрат на силовую электроэнергию необходимо выполнять с учетом технологических особенностей производства, режимов резания и энергетических характеристик технологического оборудования с оценкой рациональности его использования.

В сокращении расхода электроэнергии не менее важное значение имеет снижение механических потерь электроэнергии в технологическом оборудовании. На передовых машиностроительных предприятиях в период выполнения вспомогательных операций электродвигатели отключаются. Это осуществляется при помощи установки ограничителей холостого хода. На каждом станке, снабженном ограничителем холостого хода, в среднем за один месяц может быть сэкономлено 50—100 кВт·ч электроэнергии.

Большие резервы снижения себестоимости за счет сокращения затрат на электроэнергию заложены в улучшении использования оборудования по его мощности.

В табл.1 приведены сравнительные показатели фактического и нормального баланса электроэнергии, потребляемой за год металлорежущим оборудованием механического цеха автомобильного завода [6]. Расчет коэффициента полезного использования электроэнергии $\eta_{исп}$ проводился в зависимости от величины коэффициента загрузки станков по мощности $K_{зм}$. При этом $\eta_{исп}$ определяется как отношение полезной энергии к подведенной энергии:

$$\eta_{исп} = E_{пол} / E_{подв}$$

где $E_{пол}$ - количество полезной энергии, тыс. кВт·ч; $E_{подв}$ - количество подведенной энергии, тыс. кВт·ч.

Количество подведенной и полезной энергии (тыс. кВт·ч) рассчитывается по формулам

$$\begin{aligned} E_{подв} &= E_p + E_{xx} + E_{всп} \\ E_{пол} &= E_{подв} - E_{xx} - \Sigma \Delta E, \end{aligned}$$

где E_p - расход электроэнергии за рабочий режим, тыс. кВт·ч; E_{xx} - расход электроэнергии за время холостых ходов оборудования, тыс. кВт·ч; $E_{всп}$ - расход электроэнергии вспомогательными двигателями и двигателями подачи, тыс. кВт·ч; $\Sigma \Delta E$ - суммарные потери электроэнергии главными и вспомогательными двигателями в рабочем режиме.

Из фактического баланса потребления электроэнергии видно, что коэффициент полезного использования ее колеблется в пределах 0,46 - 0,61 при изменении коэффициента загрузки оборудования по мощности $K_{зм}$ в пределах 0,28 - 0,56. Средняя величина $\eta_{исп}$ составляет 0,516 при величине $K_{зм} = 0,35$ средневзвешенной по отработанному времени.

Нормальный достижимый коэффициент загрузки приведенного здесь типа оборудования равен 0,7 - 0,75, поэтому при составлении нормального баланса принята величина коэффициента загрузки оборудования $K_{зм} = 0,7$.

Таблица 1

Баланс использования электроэнергии по группам металлорежущего оборудования [6]

Показатель или статья баланса	Фактический баланс						Нормальный баланс						Отношение показателей нормального баланса к фактическому
	По группам станков						По группам станков						
	Расточ- ные	Токар- ные	Кару- сельные	Ско- лот- ные	Всего по цеху	В %	Расточ- ные	Токар- ные	Кару- сельные	Ско- лот- ные	Всего по цеху	В %	
Число станков, шт	16	22	11	105	-	-	16	22	11	105	-	-	
Средний коэффициент загрузки	0,32	0,28	0,56	0,35	-	-	0,7	0,7	0,7	0,7	-	-	
Полный расход электроэнергии, тыс. кВт -ч	87,4	256,3	277,5	1013,7	100,0	100,0	174,1	612,1	345,1	1853,8	100,0	1,000	
Расход электроэнергии за рабочий режим, тыс. кВт -ч	85,9	253,2	271,3	995,0	98,1	98,1	172,4	609,0	338,9	1835,1	99,0	1,009	
Потери электроэнергии в электроприводе, тыс. кВт -ч	20,1	58,0	37,7	204,9	20,1	20,1	21,5	84,8	43,9	278,5	15,0	0,746	
постоянные	16,8	51,2	27,5	170,1	16,7	16,7	16,8	51,2	27,5	169,9	9,2	0,551	
	3,3	6,8	10,2	34,8	3,4	3,4	10,9	33,6	16,4	108,6	5,8	1,706	
Потери электроэнергии в рабочей машине, тыс. кВт -ч	24,7	76,0	63,5	267,1	26,4	26,4	34,8	124,8	70,8	363,6	19,8	0,75	
	20,3	63,8	46,4	214,8	21,2	21,2	24,0	88,3	48,9	257,0	13,8	0,651	
переменные	4,4	12,2	17,1	52,3	5,2	5,2	10,8	36,5	21,9	111,6	6,0	1,154	
Расход электроэнергии за время холостых ходов оборудования, тыс. кВт -ч	1,5	3,1	6,2	18,7	1,9	1,9	1,5	3,1	6,2	18,7	1,0	0,526	
Полезно используемая электроэнергия, тыс. кВт -ч	41,1	119,2	170,1	523,0	51,6	51,6	110,1	399,4	224,2	1188,0	64,2	1,244	
Коэффициент полезного использования электроэнергии	0,471	0,463	0,615	0,516	—	—	0,633	0,652	0,65	0,642	—	—	

Из сопоставления результатов фактического баланса с нормальным видно, что с повышением коэффициента загрузки оборудования до 0,7 оно может нести полезную нагрузку в 2,28 раза большую, чем при существующей, при этом расход электроэнергии увеличивается только в 1,88 раза, а коэффициент полезного использования в 1,244 раза. В результате улучшения загрузки электрооборудования машиностроительных предприятий, обеспечения оптимальных режимов их эксплуатации можно достигнуть значительно-го сокращения потерь электроэнергии.

Сушествующие в настоящее время и используемые на практике методики позволяют достаточно точно определять параметры обработки для конкретного металлорежущего оборудования и конкретных условий обработки [1, 2, 3, 4, 5]. Расчет основных параметров осуществляется на основании степенных зависимостей общих для всех видов обработки и всех классов обрабатываемых материалов [1, 5], либо табличным методом [3, 4, 5]. Каждая из существующих методик задает множество "базовых" значений параметров режимов резания для различных сочетаний обрабатываемого материала и материала режущей части инструмента по видам обработки, полученным на основе экспериментальных или статистических исследований, а также рекомендации по корректировке этих значений для конкретных условий обработки, отличающихся от условий, при которых получены "базовые" значения. Значения всех коэффициентов и показателей степени, используемых при расчете подачи, скорости резания и силовых характеристик в зависимости от вида обработки и класса обрабатываемого материала, оформлены в виде сводных таблиц.

Обобщенный поправочный коэффициент при расчете подачи и скорости резания является функцией множества параметров, по которым в данной методике допустима корректировка:

$$K_s(\bar{X}) = F(X_0, \dots, X_n), \quad K_v(\bar{X}) = F(X_0, \dots, X_n).$$

Однако в общем случае получение функциональной зависимости F затруднено, поскольку требует проведения глубоких исследований по выявлению взаимовлияний параметров. Поэтому обобщенный поправочный коэффициент для упрощения представляется функцией множества n частных поправочных коэффициентов:

$$K_s(\bar{X}) = K_s(K_{s1}(X_1), \dots, K_{sn}(X_n)), \quad K_v(\bar{X}) = K_v(K_{v1}(X_1), \dots, K_{vn}(X_n)),$$

а каждый частный поправочный коэффициент представляется функцией одного параметра:

$$K_{si}(X_i) = F(X_i), \quad i=1, n, \\ K_{vi}(X_i) = F(X_i), \quad i=1, n.$$

В табл.2 приведены параметры, учитываемые в методиках [2, 3,5] при корректировке базовых значений подачи и скорости.

Таблица 2

Составляющие обобщенного поправочного коэффициента на подачу и скорость резания

Источники информации		Составляющие обобщенного поправочного коэффициента																							
		на подачу												на скорость											
		Кс	Ки	Кш	Кф	Кп	Кз	Кж	Км	Кл	Ку	Км	Ки	Кф	Кр	Кт	Кж	Кп	Ко	Ку	Кх	Кз	Кл	Кс	Кв
[3]	Технологический переход																								
	Сверление								*				*										*	*	
	Зенкерование								*				*					*					*	*	
	Развертывание								*				*					*					*	*	
[5]	Точение	*	*	*						*			*				*							*	*
	Фрезерование			*				*				*					*						*	*	
	Сверление		*	*				*		*		*	*										*	*	
	Зенкерование		*	*				*		*		*	*										*	*	
[2]	Развертывание		*	*				*		*		*	*				*		*	*	*	*	*	*	*
	Точение									*		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Фрезерование	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	Фрезерование	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

Кс – шифр схемы фрезерования; Ки – материал инструмента; Кш – шероховатость поверхности; Кф – форма поверхности; Кп – вид заготовки; Кз – влияние закалики; Кж – жесткость технологической системы; Км – материал детали; Кл – удельная длина обработки; Ку – условия выхода инструмента; Кр – тип обработки; Кт – угол в плане; Ко – тип охлаждения; Кх – количество рабочих ходов; Кт – стойкость инструмента; Кв – ширина фрезерования.

Поскольку частные поправочные коэффициенты в различных методиках являются независимыми и число их невелико, то модель определения обобщенного поправочного коэффициента удобно описывать в табличной форме представления частных поправочных коэффициентов и мультипликативной функции:

$$K_s(\bar{X}) = \prod_{i=1}^n K_{si}(X_i) \quad (1)$$

$$\text{и} \quad K_v(\bar{X}) = \prod_{i=1}^n K_{vi}(X_i). \quad (2)$$

Независимость частных поправочных коэффициентов в ряде случаев может быть оспорена. Таким образом, получение обобщенного поправочного коэффициента перемножением частных поправочных коэффициентов может давать неверный результат, если не учитывать их возможную взаимозависимость. В этой связи данный подход должен иметь ограниченное использование в системах автоматизированного определения параметров процесса резания.

Анализ особенностей обработки показал, что число учитываемых параметров в рассмотренных методиках недостаточно для адекватного отражения реальных условий обработки и должно быть увеличено. Выявленные факторы условно разделены на четыре группы: технологические, зависящие от используемого инструмента, обрабатываемой детали, обрабатываемой поверхности. На рис.1 представлены все факторы, которые предлагается учитывать при расчете режимов резания технологических переходов.

$$X = \{X_1, \dots, X_{16}\}.$$

Анализ всех факторов показал, что для выявленной совокупности параметров возможно задание отношений для нескольких пар параметров. Следовательно, параметры не являются независимыми и определение обобщенных поправочных коэффициентов по уравнениям (1), (2) не подходит для данного случая.

Обобщенный поправочный коэффициент представляется функцией множества интегрированных поправочных коэффициентов:

$$K_s(\bar{X}) = K_s(K_{s1}(X_1, \dots, X_i), \dots, K_{si}(X_i+1, \dots, X_n)),$$

$$K_v(\bar{X}) = K_v(K_{v1}(X_1, \dots, X_i), \dots, K_{vi}(X_i+1, \dots, X_n)),$$

а каждый интегрированный поправочный коэффициент представляется функцией зависимых параметров:

$$K_{si}(\bar{X}) = F(X_i, \dots, X_k), \quad i=1, l,$$

$$K_{vi}(\bar{X}) = F(X_i, \dots, X_k), \quad i=1, l ..$$

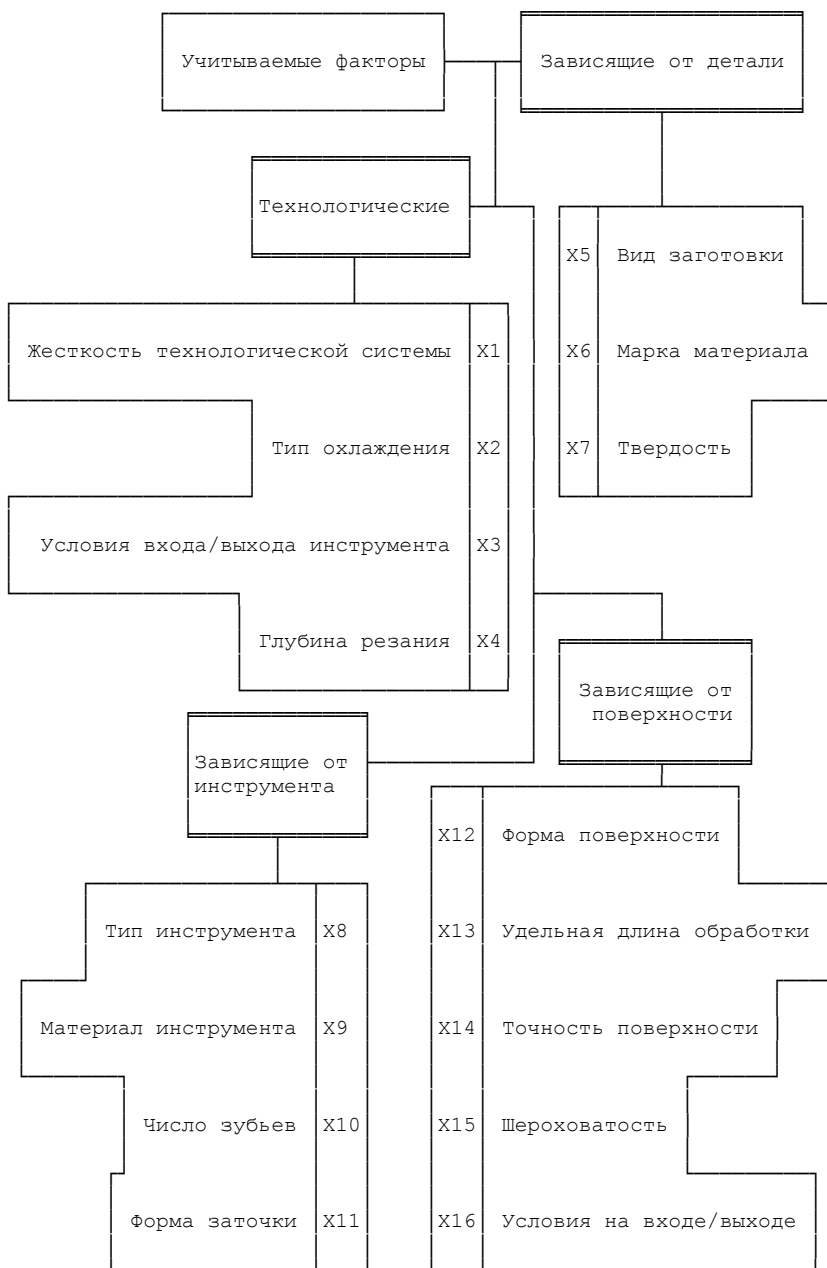


Рис.1. Факторы, учитываемые при расчете режимов резания.

Выводы. Нормирование затрат силовой электроэнергии при механической обработке резанием должно выполняться на основе определения рациональных режимов резания технологических операций, т.к. в данном случае технология всегда первична, поскольку призвана обеспечить качество изготовления и эксплуатационные свойства изделий. Эти расчетные режимы резания необходимо эффективно реализовать на технологическом оборудовании, эксплуатационные характеристики которого (диапазоны регулирования приводов и их мощность) в свою очередь должны быть оптимальными для этого. Для специального технологического оборудования эта задача практически решается на стадии его создания, а вот для универсального оборудования имеет объективную сложность, поскольку для такого оборудования характерна технологическая избыточность, вызванная необходимостью иметь большие диапазоны регулирования приводов, избыточные мощности и т.п.

Поэтому нормирование затрат силовой электроэнергии при механической обработке резанием для конкретного производства нужно начинать с анализа организационно-технологической структуры производства (состав оборудования, техпроцессы, изделия-представители) с последующей оценкой технико-экономических показателей и установлением рациональных (оптимальных) для конкретного производственного подразделения (участка, цеха).

Существующие методики расчета режимов резания технологических переходов позволяют определять силовые параметры резания и эффективную мощность, необходимую для осуществления процесса резания. Это может стать основой для разработки нормативной базы определения плановых показателей затрат электроэнергии для конкретного производства.

Список литературы: 1. Обработка металлов резанием: Справочник технолога /А.А.Панов, В.В.Аникин, Н.Г.Бойм и др.; Под общ.ред. А.А.Панова.- М.: Машиностроение, 1988.-736с. 2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. /Под ред.В.И.Баранчикова.-М.: Машиностроение, 1990. 3. Режимы резания металлов. Справочник. /Под ред. Ю.В.Барановского, Изд. 3-е, переработанное и дополненное.-М., Машиностроение, 1972.-326с. 4. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. /А.Л.Гуревич, М.В.Горохов, В.И.Захаров и др. -М.: Машиностроение, 1986,-240с. 5. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова, Изд. 4-е, переработанное и дополненное. - М.: Машиностроение, 1985. 6. Снижение себестоимости машин /М.И.Ипатов, А.В.Проскуряков, В.М.Семенов. - 2-е изд., переработанное и дополненное. - М.: Машиностроение, 1988.-208с. 7. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справ. /Под ред. Л.М.Великанова. Л.: Машиностроение, 1975. 430 с.

Поступила в редколлегию 20.10.08